



**Somos calidad,  
somos USC**

**Análisis químico in situ de pruebas forenses mediante espectrometría de masas portátil**

**Autor  
Nathaly Belalcázar Castro**

**Microbióloga**

**Director  
Dennis Mauricio Ocampo**

**Grupo de Investigación  
Grupo de Investigación en Electroquímica y Medio Ambiente (GIEMA)**

**Línea de Investigación  
Aseguramiento de la calidad**

**Facultad de Ciencias básicas  
Microbiología  
Universidad Santiago de Cali  
Santiago de Cali - Colombia  
2026**

## IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado según los siguientes criterios:

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
<b>Económico</b>	Identificación de tecnologías analíticas portátiles que permiten reducir costos de tiempos de análisis, transporte de muestras, infraestructura de laboratorios.	Laboratorios forenses, entidades de investigación criminal.
<b>Científico</b>	Revisión sistemática y aporte de conocimiento científico sobre espectrometría de masas portátil aplicada al análisis forense in situ	Comunidad científica, investigadores y estudiantes de ciencias forenses, química y ciencias básicas.
<b>Tecnológico</b>	Análisis de avances en miniaturización de equipos, fuentes de ionización ambiental aplicables fuera del laboratorio.	Instituciones forenses, sector científico y tecnológico
<b>Técnico</b>	Identificación de ventajas y desventajas relacionadas con la sensibilidad de los equipos, validación de métodos y aplicación en escenarios reales de análisis forenses.	Peritos forenses, analistas químicos, laboratoristas.
<b>Ambiental</b>	Reducción del uso de reactivos, generación de residuos, transporte de muestras al realizar los análisis en campo.	Medio ambiente, instituciones forenses, comunidad en general.

# Análisis químico *in situ* de evidencias forenses mediante espectrometría de masas portátil: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Nathaly Belalcázar Castro<sup>1</sup> ([nathalybelalcazar0@gmail.com](mailto:nathalybelalcazar0@gmail.com))

Programa de Microbiología. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali.  
Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

## RESUMEN

El análisis químico de evidencias forenses directamente en la escena del crimen es un aspecto importante para la toma de decisiones rápidas, la disminución en la preparación de las muestras y la manipulación en la cadena de custodia. La espectrometría de masas portátil ha surgido como una técnica analítica innovadora que permite realizar análisis químicos *in situ*, reduciendo los tiempos de análisis y de respuesta, la dependencia de laboratorios y del uso de equipos robustos. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar los avances tecnológicos, los beneficios y limitaciones del uso de la espectrometría de masas portátil en el análisis químico de evidencias forenses en campo.

La revisión sistemática se realizó mediante la búsqueda de literatura científica publicada entre el año 2015 y 2026 en las bases de datos Scopus y ScienceDirect. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión previamente definidos, lo que permitió seleccionar un total de 19 estudios relevantes. De cada artículo se extrajo información relacionada con la técnica de espectrometría de masas portátil empleada, que el tipo de evidencia forense analizada, el tipo de ionización, los analitos detectados, los principales resultados, las limitaciones y/o sesgos reportados.

Los estudios analizados demuestran que la espectrometría de masas portátil ha sido utilizada exitosamente para la detección de drogas de abuso, explosivos, residuos de disparo, compuestos orgánicos volátiles (COVs) y otras sustancias de interés forense, mostrando tiempos de análisis cortos y buena sensibilidad del equipo para aplicaciones directamente en la escena del crimen. Sin embargo, también se identificaron limitaciones técnicas y metodológicas, relacionadas con que los resultados obtenidos son en su mayoría cualitativos y no cuantitativos, también relacionados con el tipo de analitos detectados siendo estos compuestos muy comunes. En conclusión, la espectrometría de masas portátil resulta ser una herramienta prometedora e innovadora para el análisis forense en campo con potencial como técnica complementaria a los métodos analíticos convencionales.

**Palabras clave:** *Análisis en campo, ciencia forense, instrumentación portátil, técnicas analíticas emergentes*

# In situ chemical analysis of forensic evidence using portable mass spectrometry: A SYSTEMATIC REVIEW

## ABSTRACT

The chemical analysis of forensic evidence directly at the crime scene is crucial for rapid decision-making, reducing sample preparation time, and streamlining the chain of custody. Portable mass spectrometry has emerged as an innovative analytical technique that enables on-site chemical analysis, reducing analysis and response times, dependence on laboratories, and the need for robust equipment. The objective of this systematic review was to analyze the technological advancements, benefits, and limitations of using portable mass spectrometry for the chemical analysis of forensic evidence in the field.

The systematic review was conducted by searching the Scopus and ScienceDirect databases for scientific literature published between 2015 and 2026. Predefined inclusion and exclusion criteria were applied, resulting in the selection of 19 relevant studies. From each article, information was extracted regarding the portable mass spectrometry technique used, the type of forensic evidence analyzed, the type of ionization, the analytes detected, the main results, and the limitations and/or biases reported.

The analyzed studies demonstrate that portable mass spectrometry has been successfully used for the detection of drugs of abuse, explosives, gunshot residue, volatile organic compounds (VOCs), and other substances of forensic interest, showing short analysis times and good sensitivity of the equipment for direct applications at the crime scene. However, technical and methodological limitations were also identified, related to the fact that the results obtained are mostly qualitative and not quantitative, and also related to the type of analytes detected, which are very common compounds. In conclusion, portable mass spectrometry proves to be a promising and innovative tool for forensic analysis in the field with potential as a complementary technique to conventional analytical methods.

**Keywords:** *Field analysis, forensic science, portable instrumentation, emerging analytical techniques.*

## HIGHLIGHTS

- La espectrometría de masas portátil resultó ser viable para el análisis químico *in situ* de evidencias forenses, permitiendo la identificación rápida de drogas de abuso, explosivos, residuos de disparo y compuestos orgánicos volátiles (COVs), con una mínima o ninguna preparación de la muestra.
- Los avances tecnológicos en la miniaturización de los espectrómetros de masas, el desarrollo y el uso de fuentes de ionización ambiental han mejorado el desempeño analítico de los equipos portátiles, logrando tiempos de análisis cortos y una buena sensibilidad para el uso en escenas del crimen reales y laboratorios de investigación forense.
- La espectrometría de masas portátil resulta ser una herramienta prometedora como complementaria a las técnicas analíticas convencionales en laboratorio, capaz de optimizar los procesos forenses debido a que reduce tiempos de análisis, minimiza el

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de análisis químico *in situ* en el área forense se refiere a la identificación y análisis de sustancias químicas directamente en el lugar donde se recolectan las evidencias y/o material probatorio, todo esto sin necesidad de transportarlas a un laboratorio. Esta evaluación es valiosa en investigaciones criminales debido a que puede reducir de manera significativa el tiempo entre la recolección de la evidencia y la obtención de los resultados analíticos, lo cual influye en la toma de decisiones oportunas en las escenas del crimen y en los procesos judiciales. Un ejemplo de esto puede ser la detección rápida de drogas, explosivos o compuestos químicos peligrosos durante una investigación de campo que puede tener repercusiones en la cadena de custodia y en la validez de los resultados obtenidos en un laboratorio (Sisco & Forbes, 2021).

Para estos análisis existen técnicas analíticas convencionales, como son la espectrometría de masas acoplada a cromatografía de gases o líquida (/GC-MS o LC-MS), las cuales son ampliamente usadas debido a su alta sensibilidad para la identificación de compuestos orgánicos y sustancias trazas. Sin embargo, estos métodos requieren instrumentos sofisticados, personal especializado y se deben realizar en laboratorios, lo cual es un limitante para análisis en campo o *in situ*, además que el transporte de muestras desde la escena del crimen hasta instalaciones forenses puede generar retrasos, riesgos de contaminación y aumentos en el volumen de trabajo en los laboratorios (Wang et al., 2022a).

Debido a dichas limitaciones, la espectrometría de masas portátil ha surgido como una técnica muy útil para realizar análisis químico *in situ* o fuera del laboratorio. Durante los últimos 10 años, los avances en la miniaturización de los analizadores de masas y fuentes de ionización ambiental han permitido así el desarrollo y la innovación con equipos portátiles capaces de realizar análisis rápidos de compuestos de interés con mínima preparación de muestras operados fuera del laboratorio, teniendo un desempeño analítico para aplicaciones forenses (Marcillo et al., 2023a).

Estas tecnologías han permitido el análisis de evidencias forenses con una mínima o ninguna preparación previa de las muestras. También, en varios estudios se ha demostrado la capacidad de la espectrometría de masas portátil para la identificación de sustancias de interés forense, en el campo de drogas de abuso, como heroína, cocaína, metanfetamina, fentanilo, además de la identificación de sustancias adulterantes comunes como cafeína, benzocaína directamente de muestras sólidas o muestras encontradas *in situ* (Frinculescu et al., 2024; Sisco & Forbes, 2021). Adicionalmente, se han logrado identificar residuos de explosivos y precursores energéticos como nitratos, percloratos y otros compuestos lo cual ha resultado relevante en investigaciones de artefactos explosivos artesanales (Marcillo et al., 2023b).

No obstante, el desarrollo de espectrómetros de masas portátiles enfrenta desafíos técnicos y legales. La reducción del tamaño de sistemas de alto rendimiento implica garantizar que el equipo conserve la sensibilidad y resolución analítica. Además, que el uso de estos dispositivos directamente en la escena del crimen exige la implementación de protocolos analíticos validados y aceptados por la comunidad científica y el sistema judicial. En este contexto, los espectrómetros de masas portátiles deben ser sometidos a evaluaciones que aseguren la aceptabilidad legal y la fiabilidad de los resultados obtenidos durante el análisis *in situ*. Por estas razones, tanto los aspectos técnicos como legales continúan siendo objeto de

investigación y discusión en la literatura reciente (Wang et al., 2022b).

A pesar de los avances en el desarrollo de tecnologías portátiles y del creciente interés en su aplicación en el análisis forense, la literatura sobre el uso de la espectrometría de masas portátil para el análisis químico *in situ* sigue siendo limitada y dispersa, abarcando diferentes técnicas y aplicaciones específicas. Por lo anterior, esta revisión sistemática tuvo como objetivo analizar los avances tecnológicos, las aplicaciones forenses, los beneficios y limitaciones de la espectrometría de masas portátil en el análisis químico *in situ* de evidencias forenses, con el fin de ofrecer una visión integral del estado actual en este campo.

## 2. METODOLOGÍA

El presente documento se desarrolló dentro del enfoque de revisión sistemática, en el cual se compiló, analizó y sintetizó la información científica existente sobre el uso de la espectrometría de masas portátil para el análisis químico de evidencias forenses *in situ*. El objetivo de esta revisión consistió en el análisis de los avances, beneficios y limitaciones de la espectrometría de masas portátil en el análisis químico *in situ* de evidencias forenses.

### 2.1. Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión.

#### 2.1.1 Búsqueda bibliográfica

Se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos de investigación relacionados al uso de la espectrometría de masas portátil para el análisis químico *in situ* de evidencia forense, publicados entre los años 2015 y 2026. Para esto se consultaron diversas bases de datos como Scopus y Science direct. Las palabras claves empleadas fueron:

- Forensic science
- Forensic análisis
- Forensic evidense
- Portable mass spectrometry
- Field portable mass spectrometry
- In situ analysis
- On site analysis

En el proceso de búsqueda se usaron conectores booleanos “AND” y “OR” los cuales permiten simplificar y optimizar la recuperación de la información, combinando diferentes condiciones lógicas dentro de las bases de datos.

- AND: permite combinar dos o más términos que deben estar presentes en los resultados
- OR: permite incluir resultados que contengan cualquier de los dos términos específicos.

Posteriormente, se definieron combinaciones que permitieron obtener un número considerable de publicaciones relacionadas al tema principal, las combinaciones se ajustaron según la base de datos utilizada y se adaptaron en inglés. A continuación, se presentan ejemplos de las combinaciones utilizadas:

- “Forensic science” OR “forensic analysis” OR “forensic evidence”
- AND “portable mass spectrometry” OR “field portable mass spectrometry” OR “handheld mass spectrometer”
- AND “in situ” OR “on site”

### 2.1.2 Criterios de inclusión y exclusión.

Se tuvo en cuenta criterios de inclusión y exclusión los cuales permitieron la selección y filtración de los estudios relacionados con el uso de espectrometría de masas portátil para análisis forenses.

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- Año de publicación 2015 – 2026
- Idioma inglés
- Espectrometría de masas portátil aplicada a pruebas forenses
- Análisis químico *in situ* en contexto forense.
- Espectrometría de masas (EM) de campo para aplicaciones forenses

Los criterios de exclusión en la búsqueda fueron:

- Idioma no considerado
- Aplicación no forense
- Técnica analítica diferente
- Revisión no relevante
- Análisis de laboratorio únicamente

### 2.1.3 Proceso de selección y organización de los estudios

Para el proceso de selección de los artículos se extrajeron de las bases de datos los artículos relacionados con las palabras clave, posteriormente se utilizó el programa Rayyan para visualizar el número total de los artículos que fueron 156 documentos. Después de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión se descartaron 137 publicaciones, quedando así 19 artículos relevantes, los cuales se usaron para la realización de esta revisión.

### 2.1.4 Extracción de la información

La extracción de la información se realizó de manera sistemática a partir de los 19 artículos seleccionados tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión. Se elaboró una matriz de extracción de datos en las que se registraron las principales características metodológicas y los resultados más relevantes de cada estudio, con el fin de facilitar su análisis y comparación.

De cada artículo se extrajo la siguiente información:

- Autores y año de publicación
- Tipo de estudio
- Tipo de evidencia forense analizada
- Técnica de espectrometría de masas portátil empleada
- Tipo de ionización utilizada
- Condiciones de análisis *in situ*
- Analitos o sustancias detectadas
- Principales resultados obtenidos
- Limitaciones o sesgos

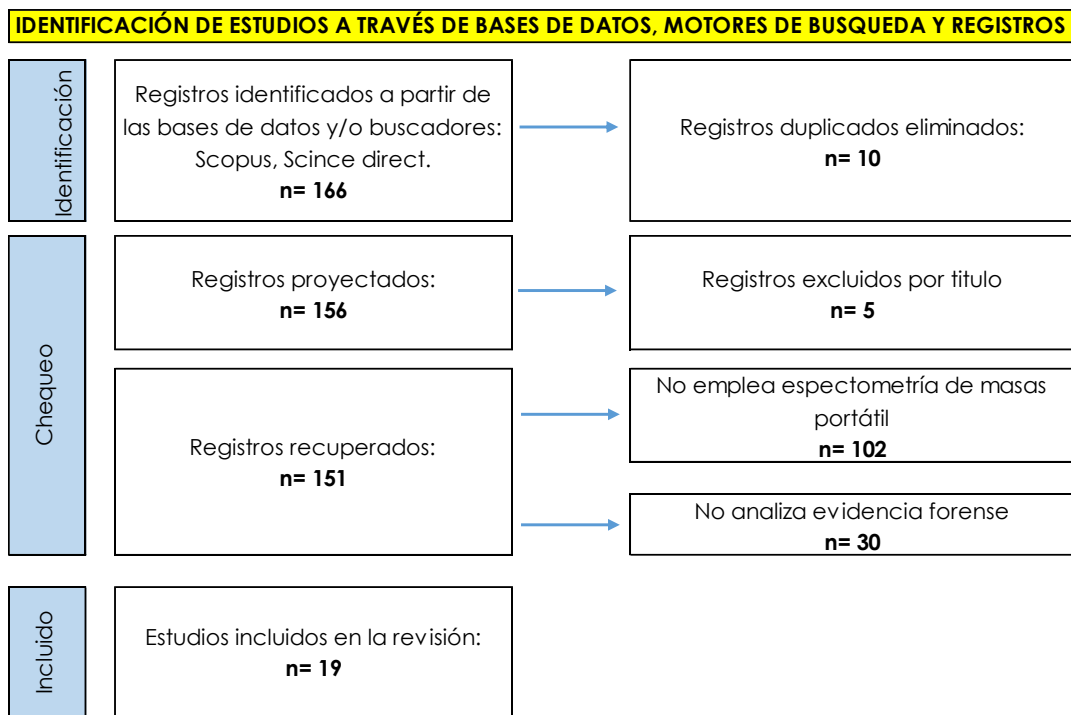
La información fue organizada y sintetizada lo cual permite identificar tendencias, avances tecnológicos, aplicaciones más frecuentes y desafíos que se presentan en el uso de

espectrometría de masas portátil para el análisis químico *in situ* de evidencias forenses.

### 3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática incluyó un total de 19 estudios científicos, seleccionados mediante el modelo PRISMA adaptado a como se ve en la figura 1, los cuales abordaron metodologías específicas para la extracción de información relevante para este estudio, como el uso de la espectrometría de masas portátil para el análisis químico *in situ* de evidencias forenses. En conjunto, los estudios evidencian avances significativos en la miniaturización de los equipos, el desarrollo de nuevas fuentes de ionización y la ampliación de sus aplicaciones en diferentes tipos de matrices forenses.

**Figura 1. Desarrollo de la metodología PRISMA para la selección de los artículos.**



**Tabla 1. Características de los estudios incluidos en la revisión**

Titulo	Autor (año)	Matriz	Técnica	Tipo de Ionización	Lugar de análisis	Analitos detectados	Principales resultados	Limitaciones o sesgos
Optimización and performance evaluación o a portable GC foro té detección o volátiles orgánico compones and its compatibility with APCI-MS	Park et al. (2026)	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	GC-MS portátil	APCI	Simulación de escenas reales.	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Detección rápida y sensible en campo	Interferencias por matriz compleja; menor resolución vs equipos de laboratorio
Rapid detection of surface chemical residues by miniature mass spectrometry	Mohammed et al. (2026)	Superficies (Identificaciones, pasaportes)	Mini-MS	TD-APCI	Superficies simuladas	Metanfetasminas	Identificación directa sin preparación	Posible contaminación superficial; cuantificación limitada.
Assessment of a combined handheld Raman spectroscopy and transportable mass spectrometry approach for the analysis of seized drug mixtures	Chang et al. (2025)	Drogas solidas	MS + Raman	Ionización electrónica (EI)	Laboratorio (equipos diseñados para uso en campo)	Cocaína	Alta precisión en identificación	Requiere validación cruzada; interferencia de adulterante
Determination of Ethanol and Aromatics in Blood by Headspace Portable Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HS-PGC-MS)	Geng et al. (2025)	Muestra biológica: <b>Sangre</b>	HS-GC-MS portátil	Ionización electrónica (EI)	Laboratorio cercano al sitio con potencial aplicación in situ	Etanol <b>LOD:</b> 1,4 mg/dl y <b>LOQ:</b> 4,7 mg/dl	Cuantificación rápida en muestras biológicas	Sensibilizada a condiciones ambientales; variabilidad en headspace.

Portable Miniature Mass Spectrometry for Enhanced On-Site Detection of Analytes in Complex Samples by Integrating Solid-Phase Microextraction and Nano-Electrospray Ionization	Liu et al. (2024)	Modelos	SPME-nanoESI-MS	Nano-ESI	En laboratorio, diseño orientado a campo.	Cafeína, Lidocaína, Ibuprofeno, Diclofenaco	Alta sensibilidad en microextracción	Limitada extrapolación a muestras reales.
Application of a Modified 3D-PCSI-MS Ion Source to On-Site, Trace Evidence Processing via Integrated Vacuum Collection	Bondzie, et al. (2024)	Cabello/fibras	MS portátil	Ionización ambiental	In situ con MS portátil	Residuos químicos	Análisis directo de trazas complejas	Efectos de matriz; reproducibilidad variable
Rapid detection of four amphetamine-type drugs in hair by pulsed direct current electrospray mass spectrometry	Mi et al. (2023)	Cabello	PDC-ESI-MS	ESI	Método usado para análisis in situ	Anfetaminas	Detección rápida y selectiva	Posible supresión iónica, preparación mínima no estandarizada
Rapid on-site identification of hazardous organic compounds at fire scenes using person-portable gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)	Lam et al. (2023)	Aguas escorrentía de incendios	GC-MS portátil	Ionización electrónica (EI)	Muestras de agua de incendios recogidas en el sitio del siniestro	COVs	Identificación múltiple en campo	Menor sensibilidad en mezclas complejas

Identification and Confirmation of Fentanyls on Paper using Portable Surface Enhanced Raman Spectroscopy and Paper Spray Ionization Mass Spectrometry	Fedick et al. (2020)	Superficies de papel	MS portátil	Ionización por paper spray (PSI)	In situ - Labor policial	Fentanilo y sus análogos	Detección rápida de opioides	Cuantificación limitada; interferencias de superficies
Filter Cone Spray Ionization Coupled to a Portable MS System: Application to On-Site Forensic Evidence and Environmental Sample Analysis	Fatigante et al. (2020).	Tabletas	MS portátil	Spray ambiental	Puntos de incautación	Drogas ilícitas (cocaína, metanfetamina)	Análisis directo sin preparación	Variabilidad en muestras heterogéneas.
On-site detection of fentanyl and its derivatives by field portable nano-liquid chromatography-electron ionization-mass spectrometry (nLC-EI-MS)	Abonamah et al. (2019)	Drogas ilícitas (muestras de narcóticos confiscados)	nLC-EI-MS	Ionización por impacto electrónico (EI)	Operaciones policiales	Fentanilo y sus análogos.	Alta sensibilidad analítica	Mayor complejidad operativa; menor portabilidad real
Swab touch spray mass spectrometry for rapid analysis of organic gunshot residue from human hand and various surfaces using commercial and fieldable mass spectrometry systems	Fedick et al. (2017)	Manos	MS portátil	STS	Escenas de crimen o instalaciones forenses móviles	Residuos orgánicos	Confirmación de exposición	Riesgo de falsos positivos por contaminación

Analytical Validation of a Portable Mass Spectrometer Featuring Interchangeable, Ambient Ionization Sources for High Throughput Forensic Evidence Screening	Lawton, et al. (2017)	Evidencia química forense genérica - compuestos ilícitos comunes	MS portátil	Ionización ambiental: Desorption electrospray ionization (DESI)	Diseñado para análisis in situ	Fentolaminas sustituidas	Alta sensibilidad en campo	Dependencia de condiciones superficiales
Trace-Level Screening of Chemicals Related to Clandestine Desomorphine Production with Ambient Sampling, Portable Mass Spectrometry	Hall, et al. (2017)	Drogas	MS portátil	Ionización ambiental: Desorption electrospray ionization (DESI)	Diseñado para análisis in situ	Codeína, Desomorfi na	Detección directa de precursores	Baja reproducibilidad en matrices complejas
Trace-Level Screening of Chemicals Related to Clandestine Desomorphine Production with Ambient Sampling, Portable Mass Spectrometry	Hall, et al. (2018)	Drogas	MS portátil	Ionización ambiental: Desorption electrospray ionization (DESI)	Diseñado para análisis in situ	Codeína, Desomorfi na	Identificación rápida y confiable	Limitaciones en cuantificación precisa
Portable solvent-assisted thermal desorption ionization mass spectrometry for highly sensitive detection of illicit drugs in hair	Wu, et al. (2025)	Muestras de cabello humano	MS portátil	Solvent-assisted thermal desorption ionization (SATDI)	Diseñado para análisis in situ (campo/criminología)	Drogas ilícitas: Ketamina, Cocaína, Morfina	Alta sensibilidad mejorada	Técnica emergente; falta de validación amplia

Rapid screening of illicit drugs in wastewater based on-site automated solid phase extraction and portable mass spectrometry techniques	Luo, et al (2025)	Aguas residuales	MS portátil	Sub-atmospheric pressure chemical ionization (SAPCI)	In situ: el mismo lugar de muestreo de aguas residuales	Ketamina (KET), Cocaína (COC), Codeína (COD).	Cribado rápido	Dilución de analitos, interferencias ambientales.
Post-burn and post-blast rapid detection of trace and bulk energetics by 3D-printed cone spray ionization mass spectrometry	Bain, et al. (2024)	Explosivos	MS portátil	Cone spray ionization	In situ: el método permite detección rápida de residuos explosivos en la escena del crimen.	TNT (trinitrotolueno), TATP (triacetone triperoxide).	Detección efectiva de explosivos y propelentes en muestras sólidas	Sensibilidad dependiente de condiciones externas.

### 3.1 Espectrometría de masas portátil: fundamentos y variantes.

La espectrometría de masas portátil ha evolucionado en los últimos años gracias a la miniaturización del equipo, permitiendo así el uso del mismo fuera del laboratorio en escenarios reales. Estos sistemas contienen analizadores compactos, fuentes de ionización adaptadas y sistemas de vacío simplificados, lo que facilita su operación en campo.

En los estudios encontrados y analizados se identificaron diversas variantes, principalmente diferenciadas por el tipo de ionización utilizada, en los cuales predominan las técnicas de ionización ambiental como DART (Direct Analysis in Real Time) que se caracteriza por su rapidez y facilidad para analizar superficies sin contacto directo, DESI (Desorption Electrospray Ionization) que permite la desorción e ionización de analitos mediante un spray cargado, PSI (Paper Spray Ionization) y STS (Swab Touch Spray) los cuales integran el muestreo y análisis en un solo paso, utilizando papel o hisopos, lo que resulta muy útil en contextos forenses. APCI (Atmospheric Pressure Chemical Ionization) y ESI (Electrospray Ionization) han sido adaptadas para el análisis de compuestos en fase gaseosa y líquida. Estas técnicas permiten el análisis directo de muestras sólidas, líquidas y con mínima o nula preparación.

Adicionalmente, algunos estudios reportan el uso de sistemas acoplados como la cromatografía de gases portátil (GC-MS) que mejora la separación y análisis de compuestos volátiles. También hay desarrollos que integran micro-extracción en fase sólida (SPME) y nano-electrospray, aumentando así la sensibilidad en matrices complejas. Estas variantes demuestran la versatilidad y la evolución que ha tenido la espectrometría de masas portátil en el ámbito forense. (Abonamah et al., 2019; Lam et al., 2020; Park et al., 2026; Liu et al., 2024; Bain et al., 2024; Bondzie et al., 2024)

### 3.2 Aplicaciones en drogas de abuso

La detección de drogas de abuso constituye una de las aplicaciones más estudiadas. Los trabajos revisados demuestran la capacidad de la espectrometría de masas portátil para identificar sustancias como cocaína, metanfetamina, fentanilo y sus análogos directamente en campo.

Brown et al., (2016) aplicaron la técnica DART (Direct analysis in real time) acoplada a un espectrómetro de masas portátil para la detección rápida de drogas de abuso comunes y sustancias psicoactivas de evidencias reales (cannabis, Cocaína, metanfetamina, oxicodona, alprazolam), obteniendo resultados en poco tiempo y sin preparación de la muestra. De manera similar, O'Leary et al., (2015) utilizaron técnicas de ionización ambiental (DESI, PSI, APCI) para el monitoreo en tiempo real de la síntesis clandestina de metanfetamina, logrando detectar compuestos característicos del proceso.

En esta misma línea, Abonamah et al., (2019) evaluaron el uso de cromatografía líquida nano acoplada a espectrometría de masas portátil utilizando ionización por impacto electrónico, para la detección de drogas ilícitas (fentanilo y sus derivados) *in situ*, evidenciando buena separación cromatográfica, tiempos de análisis cortos y adecuada sensibilidad, lo cual resalta la importancia de integrar técnicas de separación en sistemas portátiles.

Por su parte Lawton et al., (2017) realizaron la validación analítica de un espectrómetro de masas portátil con fuentes de ionización ambiental DESI, demostrando su capacidad y versatilidad para el análisis de diferentes tipos de evidencias forenses y su potencial para análisis en campo.

En el análisis de drogas sintéticas Hall et al., (2017) aplicaron espectrometría de masas portátil con ionización ambiental para la detección de sustancias relacionadas con la producción clandestina de desomorfina, logrando la identificación tanto del compuesto principal como subproductos del mismo, destacando su utilidad en investigaciones de drogas sintéticas. Así mismo, Fatigante et al., (2020) desarrollaron y evaluaron una técnica de ionización por spray desde cono de filtro acoplado a espectrometría de masas portátil que permitió la detección directa de analitos como cocaína, metanfetamina y cannabinoides sintéticos con una mínima preparación de la muestra.

Otros estudios como el de Fedick et al., (2020) combinaron espectrometría Raman portátil con espectrometría de masas portátil, mejorando la confiabilidad en la identificación de fentanilo. De manera similar, Chang et al., (2025) combinaron ambas técnicas para el análisis de drogas incautadas (cocaína, metanfetamina y adulterantes comunes; cafeína, levamisol, fenacetina) mostrando resultados positivos en la identificación preliminar de estas sustancias.

Finalmente, MI et al., (2023) aplicaron espectrometría de masas portátil con electrospray de corriente directa pulsada (ESI) para la detección rápida de drogas (Metanfetamina, Anfetamina) en cabello humano, ampliando el uso en matrices biológicas.

En conjunto, estos estudios evidencian que la técnica es altamente eficiente para la identificación rápida de drogas; sin embargo, su aplicación es principalmente cualitativa y depende del tipo de ionización y de la complejidad de la matriz analizada.

### **3.3 Aplicaciones en explosivos y residuos post-explosivos.**

La detección de explosivos representa otra aplicación relevante. Bain et al., (2024) evaluaron la detección rápida de residuos post- incendio y post- explosión (explosivos con TNT y explosivos caseros con TATP) utilizando espectrometría de masas portátil mediante ionización por cone spray impreso en 3D, en escenarios simulados, mostrando alta sensibilidad.

Por su parte, Bondzie et al., (2024) utilizaron una fuente de ionización 3D-PCSI acoplada a espectrometría de masas portátil para el procesamiento in situ de evidencias como cabello, fibras, polvo, evidenciando la versatilidad del método. Estos estudios destacan la importancia del análisis rápido en situaciones de riesgo, donde la toma de decisiones inmediata es crucial.

### **3.4 Residuos de disparo (GSR)**

En el análisis de residuos de disparo, Fedick & Bain, (2017) usaron la espectrometría de masas portátil acoplada a la técnica de ionización STS (Swab touch spray ionization) para el análisis de residuos orgánicos de disparo en manos y superficies, los resultados demostraron que la espectrometría de masas portátil permite identificar residuos de disparo de manera rápida, facilitando sus aplicaciones en investigaciones criminales.

### **3.5 Compuestos orgánicos volátiles (COVs)**

Los compuestos orgánicos volátiles también han sido ampliamente estudiados. Lam et al., (2020) utilizaron cromatografía de gases portátil acoplado a espectrometría de masas para la identificación in situ de compuestos orgánicos peligrosos en escenas de incendio, mientras que Park et al., (2026) optimizaron y desarrollaron un cromatógrafo de gases portátil con un espectrómetro de masas utilizando ionización APCI (ionización química a presión atmosférica) para la detección de COVs como; hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos alifáticos y solventes orgánicos comunes. Esta técnica demostró potencial para análisis químico *in situ*, se evidenció disminución de tiempo de recolección de evidencias y la obtención del resultado analítico.

Geng et al., (2025) aplicaron esta técnica para la determinación de etanol y compuestos aromáticos volátiles (benceno, tolueno, xilenos) en muestras de sangre, evidenciando buena linealidad, reproducibilidad y aplicabilidad en toxicología forense.

### **3.6 Matrices biológicas y complejas.**

La espectrometría de masas portátil también ha sido aplicada en matrices complejas como cabello, agua y documentos. Wu et al., (2025) utilizaron (DESI) acoplada a espectrometría de masas portátil para la detección de drogas ilícitas en cabello, mientras que Liu et al., (2024) integraron SPME con nano-electrospray para mejorar la detección en muestras complejas.

Luo et al., (2025) aplicaron estas tecnologías para el cribado de drogas ilícitas en aguas residuales lo cual permite el trazado de consumo en poblaciones. Este método puede ser una alternativa más ecológico en comparación con métodos de laboratorios tradicionales, mientras que Mohammed et al., (2026) evaluaron la detección rápida de drogas ilícitas (metanfetamina) sobre documentos (ID, pasaportes) ampliando su aplicabilidad para análisis directos en escenarios forenses.

### **3.7 Condiciones de análisis *in situ***

Las condiciones de análisis *in situ* representan uno de los principales retos, debido a que, a diferencia del laboratorio, los análisis en campo están sujetos a variaciones en temperatura, humedad, contaminación ambiental y tipos de superficies, lo cual puede afectar la ionización y la estabilidad de la señal.

Se observó que varios estudios se realizaron en condiciones parcialmente controladas, lo que limita su aplicabilidad en escenarios reales.

Factores como la calibración del equipo, la estabilidad de la fuente de ionización y la interferencia de la matriz son determinantes en la calidad de los resultados. Esto evidencia la necesidad de estandarizar protocolos que garanticen la reproducibilidad en campo.

### **3.8 Sesgos y limitaciones.**

A partir del análisis de la literatura, se identificaron sesgos y limitaciones metodológicas comunes en la aplicación de la espectrometría de masas portátil en el análisis forense *in situ*. La mayoría de los estudios se enfocan en el análisis cualitativo, donde identifican la sustancia sin reportar parámetros analíticos como los límites de detección (LOD) y los límites de cuantificación (LQO), lo cual dificulta la comparación entre sistemas y limita la evaluación para aplicaciones cuantitativas. Igualmente, muchos estudios se desarrollaron bajo condiciones controladas, con tamaños de muestras reducidos y se enfocan principalmente en la detección de compuestos forenses comunes, mientras que la evaluación de analitos raros o emergentes es limitada. Todo esto evidencia la necesidad de estudios más robustos, con reportes analíticos completos, que respalden la implementación rutinaria y en escenarios reales.

## **4. CONCLUSIONES**

Esta revisión sistemática permitió concluir que la espectrometría de masas portátil se ha consolidado como una herramienta analítica viable para el análisis químico *in situ* de evidencias forenses, sobre todo en momentos donde se requiere una respuesta rápida, donde la preparación de la muestra sea mínima o nula, la reducción de riesgos a la hora del transporte de las muestras al laboratorio, la manipulación y los cuidados necesarios en la cadena de custodia. Los 19 estudios analizados en esta revisión evidencian avances significativos en la miniaturización de los equipos, el desarrollo de los métodos de ionización que en este caso prevalecen los métodos de ionización ambiental y las diferentes aplicaciones en muestras forenses.

Los resultados recopilados en este estudio muestran que las tecnologías de espectrometría de masas portátil han sido aplicadas en la detección e identificación de drogas de abuso, residuos de disparo, compuestos orgánicos volátiles, alcoholes, explosivos y otras sustancias de interés forense, utilizando matrices sólidas, líquidas y biológicas. En general los estudios reportan tiempos de análisis cortos, sensibilidad analítica y buena selectividad lo cual hace que esta técnica sea utilizada como análisis complementario a los métodos de laboratorio.

Esta revisión también evidencia algunas limitaciones técnicas y metodológicas que restringen su implementación rutinaria en el ámbito forense, entre estas prevalecen la variabilidad en los límites de detección según la fuente de ionización, la mayoría de los estudios se limitaron a

realizar análisis cualitativo y no cuantitativo, la disminución en la resolución en comparación con sistemas de laboratorio y la necesidad de condiciones controladas para asegurar la reproducibilidad de los resultados. Así mismo se evidencian sesgos en los estudios, como la selección de los analitos donde estudian compuestos muy comunes y esto podría generar un sesgo de los resultados a la hora de estudiar otros compuestos diferentes.

A partir de estos hallazgos, se concluye que la espectrometría de masas portátil no pretende reemplazar las técnicas analíticas convencionales ni la aplicación de la técnica en equipos robustos en el laboratorio, sino se utilizados como una herramienta de apoyo en campo que permita tomar decisiones preliminares y optimizar los procesos posteriores de confirmación en el laboratorio.

Por último, esta revisión resalta la necesidad de seguir investigando e innovando con la mejora de estos equipos en sensibilidad y robustes de los equipos portátiles, evaluar estos equipos en escenas reales y complejas. Esta revisión logro demostrar la espectrometría de masas portátil como una tecnología con mucho potencial y como una técnica viable para análisis forense moderno.

## **5. DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

Los autores declaran que no han usado herramientas de inteligencia artificial (IA) en la creación de este artículo

## **6. CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

## **7. AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer, en primer lugar, a Dios por darme fortaleza, sabiduría y la oportunidad de recorrer este camino profesional, que, aunque largo, ha estado lleno de valiosas enseñanzas tanto a nivel personal como profesional.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación.

Un agradecimiento muy especial a la doctora Yaneth Vargas, quien con su orientación y apoyo ha sido clave para motivarme a retomar y culminar esta importante etapa de mi vida.

Expreso mi más sincero reconocimiento a los profesores Dennis Mauricio Ocampo y Yhors Ciro, por su acompañamiento, compromiso y valiosos aportes en este proceso.

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Abonamah, J. V., Eckenrode, B. A., & Moini, M. (2019). On-site detection of fentanyl and its derivatives by field portable nano-liquid chromatography-electron ionization-mass spectrometry (nLC-EI-MS). *Forensic Chemistry*, 16, 100180. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2019.100180>
2. Bain, R. M., Pinedo, T., Klapac, D. J., Mulligan, C. C., & Fedick, P. W. (2024). Post-burn and post-blast rapid detection of trace and bulk energetics by 3D-printed cone spray ionization mass spectrometry. *Talanta Open*, 10, 100377. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2024.100377>

3. Bondzie, E. H., Adehinmoye, A., Molnar, B. T., Fedick, P. W., & Mulligan, C. C. (2024). Application of a Modified 3D-PCSI-MS Ion Source to On-Site, Trace Evidence Processing via Integrated Vacuum Collection. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 35(1), 82–89. <https://doi.org/10.1021/jasms.3c00317>
4. Brown, H., Oktem, B., Windom, A., Doroshenko, V., & Evans-Nguyen, K. (2016). Direct Analysis in Real Time (DART) and a portable mass spectrometer for rapid identification of common and designer drugs on-site. *Forensic Chemistry*, 1, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2016.07.002>
5. Chang, C., Monjardez, G., & Davidson, J. T. (2025). Assessment of a combined handheld Raman spectroscopy and transportable mass spectrometry approach for the analysis of seized drug mixtures. *Forensic Science International*, 372, 112512. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2025.112512>
6. Fatigante, W. L., Mukta, S., Lawton, Z. E., Bruno, A. M., Traub, A., Gasa, A. J., Stelmack, A. R., Wilson-Frank, C. R., & Mulligan, C. C. (2020). Filter Cone Spray Ionization Coupled to a Portable MS System: Application to On-Site Forensic Evidence and Environmental Sample Analysis. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 31(2), 336–346. <https://doi.org/10.1021/jasms.9b00098>
7. Fedick, P. W., & Bain, R. M. (2017). Swab touch spray mass spectrometry for rapid analysis of organic gunshot residue from human hand and various surfaces using commercial and fieldable mass spectrometry systems. *Forensic Chemistry*, 5, 53–57. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2017.06.005>
8. Fedick, P. W., Pu, F., Morato, N. M., & Cooks, R. G. (2020). Identification and Confirmation of Fentanyls on Paper using Portable Surface Enhanced Raman Spectroscopy and Paper Spray Ionization Mass Spectrometry. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 31(3), 735–741. <https://doi.org/10.1021/jasms.0c00004>
9. Frinculescu, A., Mercer, B., Shine, T., Ramsey, J., Couchman, L., Douce, D., Frascione, N., & Abbate, V. (2024). Assessment of a Single Quadrupole Mass Spectrometer Combined with an Atmospheric Solids Analysis Probe for the On-Site Identification of Amnesty Bin Drugs. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 35(7), 1480–1488
10. Geng, Y., Zhang, S., Lin, J., Zhu, X., Gao, W., Li, J., Wang, C., Wu, Y., Han, R., Tang, K., & Yu, J. (2025). Determination of Ethanol and Aromatics in Blood by Headspace Portable Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HS-PGC-MS). *Analytical Letters*, 58(5), 724–735. <https://doi.org/10.1080/00032719.2024.2336220>
11. Hall, S. E., O’Leary, A. E., Lawton, Z. E., Bruno, A. M., & Mulligan, C. C. (2017). Trace-Level Screening of Chemicals Related to Clandestine Desomorphine Production with Ambient Sampling, Portable Mass Spectrometry. *Journal of Chemistry*, 2017, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2017/8571928>
12. Lam, R., Lennard, C., Kingsland, G., Johnstone, P., Symons, A., Wythes, L., Fewtrell, J., O’Brien, D., & Spikmans, V. (2020). Rapid on-site identification of hazardous organic compounds at fire scenes using person- portable gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)–part 2: water sampling and analysis. *Forensic Sciences Research*, 5(2), 150–164. <https://doi.org/10.1080/20961790.2019.1662648>
13. Lawton, Z. E., Traub, A., Fatigante, W. L., Mancias, J., O’Leary, A. E., Hall, S. E., Wieland, J. R., Oberacher, H., Gizzi, M. C., & Mulligan, C. C. (2017). Analytical Validation of a Portable Mass Spectrometer Featuring Interchangeable, Ambient Ionization Sources for High Throughput Forensic Evidence Screening. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 28(6), 1048–1059. <https://doi.org/10.1007/s13361-016-1562-2>

14. Liu, X., Wang, B., Luo, H., Zou, J., Yang, B.-C., & Hu, B. (2024). Portable Miniature Mass Spectrometry for Enhanced On-Site Detection of Analytes in Complex Samples by Integrating Solid-Phase Microextraction and Nano-Electrospray Ionization. *Analytical Chemistry*, 96(44), 17471–17475. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.4c04224>
15. Luo, L., Wang, C., Wu, Y., Zhang, H., Xu, F., Tang, K., & Yu, J. (2025). Rapid screening of illicit drugs in wastewater based on-site automated solid phase extraction and portable mass spectrometry techniques. *Journal of Chromatography A*, 1753, 466011. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2025.466011>
16. Marcillo, A., Baca Cabrera, J. C., Widdig, A., & Birkemeyer, C. (2023a). A comparison between mobile and stationary gas chromatography–mass spectrometry devices for analysis of complex volatile profiles. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 415(1), 137–155. <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04391-y>
17. Marcillo, A., Baca Cabrera, J. C., Widdig, A., & Birkemeyer, C. (2023b). A comparison between mobile and stationary gas chromatography–mass spectrometry devices for analysis of complex volatile profiles. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 415(1), 137–155. <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04391-y>
18. MI, K., ZHANG, W., WEN, L., & WANG, J. (2023). Rapid detection of four amphetamine-type drugs in hair by pulsed direct current electrospray mass spectrometry. *Chinese Journal of Chromatography*, 41(12), 1141–1148. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1123.2023.04002>
19. Mohammed, A.-F. A., Li, B., Hong, J., Xu, W., & Zhai, Y. (2026). Rapid detection of surface chemical residues by miniature mass spectrometry. *Talanta*, 297, 128707. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.128707>
20. O'Leary, A. E., Hall, S. E., Vircks, K. E., & Mulligan, C. C. (2015). Monitoring the clandestine synthesis of methamphetamine in real-time with ambient sampling, portable mass spectrometry. *Analytical Methods*, 7(17), 7156–7163. <https://doi.org/10.1039/C5AY005>
21. Park, J., Baek, S. J., & Kim, J. (2026). Optimization and performance evaluation of a portable GC for the detection of volatile organic compounds and its compatibility with APCI-MS. *Talanta*, 300, 129264. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.129264>
22. Sisco, E., & Forbes, T. P. (2021). Forensic applications of DART-MS: A review of recent literature. *Forensic Chemistry*, 22, 100294. <https://doi.org/10.1016/J.FORC.2020.100294>
23. Wang, J., Pursell, M. E., DeVor, A., Awoyemi, O., Valentine, S. J., & Li, P. (2022a). Portable mass spectrometry system: instrumentation, applications, and path to 'omics analysis. *PROTEOMICS*, 22(23–24). <https://doi.org/10.1002/pmic.202200112>
24. Wang, J., Pursell, M. E., DeVor, A., Awoyemi, O., Valentine, S. J., & Li, P. (2022b). Portable mass spectrometry system: instrumentation, applications, and path to 'omics analysis. *PROTEOMICS*, 22(23–24). <https://doi.org/10.1002/pmic.202200112>
25. Wu, S., Xu, F., Wu, Y., Wang, C., Gao, W., Han, R., Yu, J., & Tang, K. (2025). Portable solvent-assisted thermal desorption ionization mass spectrometry for highly sensitive detection of illicit drugs in hair. *Talanta*, 289, 127769. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.127769>